



What is claimed is:

An active cord mechanism comprising a plurality of trunk joints that are connected in a sequential and continuous manner, the joints being coupled with a first connecting mechanism and a second connecting mechanism that are disposed alternately, wherein the first connecting mechanism can be controlled to rotate about the axis of the trunk joints and the second connecting mechanism can be controlled to rotate at an angle with respect to the axis of the trunk joints, wherein the angle of rotation is controlled by the first connecting mechanism coaxially and by the second connecting mechanism in an inclined manner.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig. 1 shows drawings for the explanation of the ACM according to prior art.

Fig. 2 schematically shows an ACM according to an embodiment of the invention.

Fig. 3 shows the unit joint of the ACM.

Fig. 4 shows a drawing for the explanation of the controllability of the ACM.

Figs. 5 and 6 show exploded perspective views of a coaxial joint portion and an inclined-rotation joint portion, respectively.

Fig. 7 shows an overall view of the ACM.

Fig. 8(A) shows a wheel mechanism for the ACM.

Fig. 8(B) shows an enlarged b - b cross section of Fig. 8(A).

L1, L2	trunk joints
Ja	coaxial rotation joint
Jb	inclined rotation joint
11a, 11b	hollow pipe
12a, 12b	fixed circular plate

13	hollow shaft
16	bearing
17	ring gear
18	pulsed motor
22a, 22b	fixed elliptical plate

⑯ 日本国特許庁 (JP) ⑮ 特許出願公開
⑰ 公開特許公報 (A) 昭56-163624

⑯ Int. Cl.³
A 61 B 1/00

識別記号 庁内整理番号
7058-4C

⑯ 公開 昭和56年(1981)12月16日

発明の数 1
審査請求 有

(全 6 頁)

⑯ 索状能動本

⑯ 特 願 昭55-66959
⑯ 出 願 昭55(1980)5月20日
⑯ 発明者 廣瀬茂男
東京都目黒区大岡山2の10の35
大岡山宿舎CC-4

⑯ 出願人 梅谷陽二
東京都世田谷区池尻1の3の4
の302
⑯ 出願人 廣瀬茂男
東京都目黒区大岡山2の10の35
大岡山宿舎CC-4
⑯ 代理人 弁理士 鈴江武彦 外2名

明細書

1. 発明の名称

索状能動体

2. 特許請求の範囲

複数の体幹節を順次連続するようにしてなり、その各節は順次交互に配置される、体幹軸に同軸に回転制御自在にした第1の連結機構、および体幹軸に傾斜した状態で回転制御自在にした第2の連結機構によって結合し、この第1および第2の連結機構でそれぞれ同軸にあるいは斜旋回状態に回転角制御するようにしたことを特徴とする索状能動体。

3. 発明の詳細な説明

この発明は、例えば狭隘な空間における検査等の作業、あるいは医療用内視鏡の能動化に効果的に使用可能とする索状能動体に関する。

索状能動体 (Active Cord Mechanism = ACM) は、ひも状の細長い体幹を有し、しかも体幹に沿って直列に装備されたアクチュエータ群によりその体幹形状を能動的且つ柔軟な屈曲運動で変

形し、種々の動作を遂行する機能体、と定義づけられる。

この ACM は、複数の体幹節を順次直列状に連結して構成するもので、その体幹姿勢を任意に設定するには、この体幹節相互を順次連結する関節機構は、各 2 自由度の運動自由度を必要とする。この場合、この関節機構部における 2 自由度が共に屈曲姿勢に使用する状態としたのでは、その関節の軸まわりの回転姿勢は任意に変えることができない。しかし、この ACM をマニピュレータのアームとして考える場合には、その全体的な姿勢が重要であり、各体幹節の軸まわり姿勢、つまり体幹表面の向きはあまり重要ではない。ただし、この ACM の終端部における軸まわりの姿勢は、マニピュレータの場合、ハンドの姿勢を定めるために必要となり、少なくとも終端部においては軸まわり姿勢に対する自由度が要求される。

ACM の基本自由度配分構造のための 2 自由度関節としては、

(a) 軸の法線および従法線の2軸を旋回中心軸とする手段。

(b) 軸の接線と残りの法線あるいは従法線の2軸を旋回中心軸とする手段。

の2種類が考えられる。

上記(a)の手段は、例えばユニバーサルジョイントとして知られるもので、体幹関節における連結部の中心に、その周辺部に取り付けた直動形アクチュエータで、2自由度屈曲運動を生じさせるものである。しかし、この手段ではアクチュエータ連結部にも2自由度接手を必要とする構造上の問題点が存在する。2つの異なる旋回運動を1点で生ずるよう構成することは困難であるため、実際には第1図の(A)に示すように、複数の体幹節 l_1, l_2, l_3, \dots を順次関節機械で連結するもので、この関節機械を交互に法線軸の関節 U_a 、従法線の関節 U_b で構成して、1自由度旋回づつ分離することが考えられる。この構造では1対の旋回節間の節長は、充分に短かくしなければ、充分な意味でのACM基

本自由度配分構造とはならない。すなわちこのような手段では、具現性が劣る状態となる。

また、前記(b)の手段は、関節をディファレンシャルギヤを用いて、2自由度的に駆動する構造のものとするものであるが、その他第1図の(B)に示すように体幹節 l_1, l_2, \dots を連結する関節部を、体幹軸まわりの同軸旋回節 U_c と、前記関節 U_a と同様の屈曲旋回節 U_d を組み合わせてユニット関節を構成することで実現できる。

このような構造は比較的簡単でしかもユニット関節の1点に2自由度が集中したと等価な運動が実現でき、しかもその自由度が運動曲線の曲率と操作率に対応して駆動できるような比較的望ましい特性を有している。

しかし、このような構造である場合、特に関節部における屈曲運動を行なわせる場合、モータ等による回転運動それ自体が屈曲作用となるものであり、回転軸に対してねじれの力が直接的に作用する状態となる。このため、種々の試

作実験の結果においても、充分に堅牢で空間運動を行なうACMの節として必要な機能性を発揮させる構造は得られなかつた。

この発明は上記のような点に鑑みなされたもので、充分簡潔的に構成し、且つ各種情報伝達機構を内蔵しながらも、自由な空間運動を行なわせることができ、且つ充分な堅牢度も得られるようにする柔軟能動体(ACM)を提供することを目的とするものである。

以下図面を参照してこの発明の一実施例を説明する。第2図はこの概略的な構成を示すもので、複数の体幹節 l_1, l_2, \dots を直列状に配置連結し、その各体幹節の連結関節部を、同軸回転関節 J_a と、斜旋回関節 J_b とによって構成するもので、これら関節 J_a および J_b は交互に配分され、その1組でユニット関節 J を構成するようにしてなる。

第3図はこのユニット関節 J 部を取り出して示したもので、体幹軸と同軸に回転する同軸回転関節 J_{ai} と、体幹軸に角度 α をなした斜旋回

関節 J_{bi} とによって、単位ユニット関節 J を構成する。上記斜旋回関節 J_{bi} において、この関節が α 軸のまわりに回転する時、P点は破線で示すように円軌跡上を動く。この時、さらに同軸回転関節 J_{ai} を回転すると、P点はO点を中心とした最大角 4° の球面上を運動するようになる。すなわち、斜旋回関節 J_{bi} と、同軸回転関節 J_{ai} の2自由度の旋回によって、体幹節 l_i はO点を中心とする土 2° の立体角の範囲内に可動運動を行なうようになる。

一般に、ACMによる柔軟な屈曲運動を考える場合、ACMが本来多数のユニット群から構成されているものであるため、1関節当りの屈曲運動範囲は、かなり制限させてもよい。例えば、非常に柔軟な運動を行なう「へび」の場合も、全体軸が 200 節程の背椎骨からなるため、単位節当りの角運動的可動範囲は土 4° 程度にすぎない。この点から考察して、ACMの関節機構として、斜旋回機械を用いても充分に柔軟な運動が可能とされるものである。

そして、このような斜旋回関節を用いて ACM を構成するようすれば、その幾何学的配置により、外形状に不要な凹凸がなく、円筒形をそのまま屈曲するような姿勢変形が可能となる。すなわち、狭隘な空間への侵入等の ACM 特有の機能性が効果的に発揮し易いものとなる。また、円筒体で構成する一種の外骨格構造とすることができるため、アクチエータへの角度指令や電源ライン等を、内部空間を通して伝達し得るものとすることが可能で、その断面寸法の割合には構造上壁面で且つ堅牢な機構とすることができる、ACM の空間運動性を容易に向上することができる。

ここで、斜旋回機械の制御について考えてみると、まず斜旋回関節の旋回角 θ_i と同軸回転関節の回転角 ϕ_i とが屈角 ρ_i と換角 τ_i とにどのような関係にあるかを考察する。ここで屈角 ρ_i とは、体幹筋 L_{i-1} と L_i とがなす角度であり、連続曲線の曲率に対応する。また換角 τ_i とは、体幹筋 L_i が L_{i-1} に対して屈角を有する方向の

体幹筋 L_{i-1} のまわりの角度であり、連続曲線の換率に対応するものとする。

まず、このような関係を説明するための準備として、第4図に示すような斜旋回関節とその前後の同軸回転関節からなる自由度系について考察する。第4図において体幹(リンク)ベクトル L_{i-1} 、 L_i は初期状態で直線状をなすとすると、接線ベクトル t は、この体幹軸方向にとり、法線ベクトル n は、 t と垂直で斜旋回中心軸 α を $t \sim n$ 平面上に含むようにとり、従法線ベクトル b は、 $t \sim n$ 平面上に垂直な方向にとる。空間ベクトルの回転の表記は、牧野の方式、つまりベクトル x のベクトル y を軸とする角度 θ の反時間まわり回転を回転変換テンソルによって、 $E^y(\theta)$ と表記する方式にしたがえば、この3自由度リンク系の回転変換テンソル E_i は、

$$E_i = E^{t\theta_i} E^{b\alpha} E^{n\phi_i} E^{b(-\alpha)} E^{t\phi_i} \dots \dots (1)$$

と示される。ただし、ここで

$$E^{t\theta_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix}$$

$$E^{b\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

を示している。

(1)式はまず L_i を ϕ_i だけ回転補正した後、斜旋回中心軸 α を t と一致させて θ だけ回転させ、さらに α をもともとどし、 L_{i-1} を ϕ_i だけその軸のまわりに回転補正することを示している。

第4図のような3自由度系において、その斜旋回関節を旋回した時、他の同軸回転関節を協調的に回転することにより、全体としてねじれのない単純屈折を生ずるためには、次の条件が必要である。

- L_i の屈折運動が $t \sim b$ 平面内のみで生ずる。
- ベクトル L_i 上に立てた n 方向ベクトルが、変換後もその方向を変えない。

上記(a)の条件は、 $E_i(t)$ の法線ベクトル成分が

「0」となることであり、(1)式の変換テンソルからこれを求めれば次のように示される。

$$\sin \alpha (\cos \alpha (1 - \cos \theta) \cos \phi_i + \sin \theta \sin \phi_i) = 0 \dots \dots (2)$$

式の $\alpha \neq 0$ から、この条件は次のようになる。

$$\cos \alpha (1 - \cos \theta) \cos \phi_i + \sin \theta \sin \phi_i = 0 \dots \dots (3)$$

一方(b)の条件は、 $E_{(b)} = 0$ が成立立つことである。(1)式の変換テンソルから、この関係を説明すると、特にその接線方向成分の関係は(2)式の ϕ_i を ϕ_i'' と置換した同形の関係が説明される。このことから、 $\phi_i'' - \phi_i' \equiv \phi_i$ であると云える。つまり、ねじれなし($\tau_i = 0$)の屈曲運動を実現するためには、斜旋回関節が角度 θ_i 旋回した時、その前後の同軸回転関節は、両者共に同一方向に同一角度 ϕ_i の補正回転を行なえばよい。この ϕ_i は(3)式から次のように求められる。

$$\phi_i = \tan^{-1} \left(-\frac{\cos \alpha (1 - \cos \theta_i)}{\sin \theta_i} \right) \dots \dots (4)$$

また、この時に生ずる屈角 ρ_i は、 $E_i(t)$ の接線方向成分と、従法線方向成分の比が次のように求まる。

$$\rho_i = -\operatorname{sgn}(\theta_i) \operatorname{cos}^{-1}(\operatorname{cos}\theta_i + \operatorname{cos}^2\alpha(1-\operatorname{cos}\theta_i)) \quad \dots (5)$$

$$\text{ただし, } \operatorname{sgn}(\theta_i) = \begin{cases} \frac{\theta_i}{|\theta_i|} & (\theta_i \neq 0) \\ 0 & (\theta_i = 0) \end{cases}$$

また、逆に斜旋回関節の旋回角 θ_i は、屈角 ρ_i によって次のように示される。

$$\theta_i = -\operatorname{sgn}(\rho_i) \operatorname{cos}^{-1}\left(\frac{\operatorname{cos}\rho_i - \operatorname{cos}^2\alpha}{1 - \operatorname{cos}^2\alpha}\right) \quad \dots \dots (6)$$

以上のことから、斜旋回関節でねじれなしの屈折を生ずるためには、その前後の同軸回転関節に同一方向の等角度補正回路が必要であることが理解できる。このことから逆に斜旋回機構中の同軸回転関節では、同時に3つの機能が遂行されていることがわかる。つまり、同軸回転関節 $J\theta_i$ の回転角 ϕ_i は、その前後の斜旋回関節の補正旋回 ϕ_{i-1} , ϕ_{i+1} とその関節に与えられた換角 τ_i を生ずるため、次式で与えられることがある。

$$\phi_i = \phi_{i-1} + \phi_{i+1} + \tau_i \quad \dots \dots \dots (7)$$

第5図は、同軸回転関節の具体的な構成例を

し、リングヤア17に組合するギア21を回転し、パルスモータ18によって、中空パイプ11aと11bが相互に回転回転されるようにしてなる。

第6図は、中空パイプ11bと11cとの間に構成される斜旋回関節の具体的な構成例を示したもので、パイプ11b, 11cの対向端面は旋回角に対応して軸法線に対して斜めに形成され、この斜め端面に対応して固定円板22a, 22bが嵌め込み固定される。すなわち、この固定円板22a, 22bは第5図の固定円板11a, 11bに相当する部材であり、この固定円板22a, 22bに関連して、第5図の場合と同様の中空シャフト13、ナット14、ペアリング押え15、ペアリング16が組み合わせ構成され、パルスモータ18でリングヤア17を回転して中空パイプ11cが旋回運動されるようにしてなる。

ただし、この場合上記旋回運動を行なわせる回転機構の軸は、中空パイプ11b, 11c

示したもので、この関節で連結される1対の体幹筋は、それぞれ円筒状の中空パイプ11a, 11bで構成され、その対向する端面には、それぞれ固定円板12a, 12bが嵌め込み固定される。この固定円板12a, 12bの中心軸部には、それぞれ透孔が形成され、中空シャフト13で結合され、ナット14で締付け連結される。ここで、固定円板12aと12bとの間には、ペアリング押え16によって位置設定されるペアリング16を介在させ、固定円板12aと12bとは相互に自由に回転し得るように設定するものであり、さらに固定円板12bに対しては、内周面に歯を有するリングヤア17を固定して取り付ける。

また、中空パイプ11a内には、エンコーダ出力で回転制御されるパルスモータ18を設け、このパルスモータ18の回転を減速ギア機構を介して、パイプ11aの中心より外れた位置の回転軸19に取り出す。そして、この回転軸19は固定円板12aの透孔20を介して導出

の軸線に対して、角度α傾斜して設定される。

ここで、この斜旋回筋の旋回軸斜傾度αは、例えば25度とすれば、各関節において±50度というある程度の屈曲可動範囲を生ずる。また、中空パイプ11bと11cの対向端面の丸み形状は、α=25度の時はその長軸と短軸の長さの差は1割程度である。

そして、このように構成されるユニット関節を複数組連続することによって、第7図に示すように自由に変形し得るACM機構が完成されるものであり、各関節にあるパルスモータをデジタルサーボ系として、その回転角、回転角速度をマイクロコンピュータによって直接駆動制御するものである。このようなACM全体は、床面上の2次元的運動が可能であると共に、指令通りのバランスを保った3次元的姿勢をとりつつ、次にその姿勢を変えて行くような動作が可能である。また、このACM機構にあっては、その軸方向および法線方向の床面との間の摩擦係数の差を利用して、「ヘビ」のようにならふく

運動によって推進運動をすることが可能である。

しかし、第8図に示すように体幹に沿って、多数の脚を設定するように車輪機構25を設け、この車輪機構25それぞれにおいて回転制御装置を設けるようにすれば、より効果的な推進運動が実現できる。

この場合、この車輪機構25は、第8図の(B)に示すように体幹外周に回転自在にしたリング26に対して車輪27を取り付ける構造とする。体幹節の回転旋回に關係なく床面に接触する状態が設定することができ、狭い通路内への侵入、柱状体に対する巻き付き推進運動等も実現できるものである。

以上のようにこの発明によれば、空間運動性等に優れた機能を発揮する柔軟能動体の得られるものであり、例えば狭隘な作業空間に侵入して行くマニピュレータのハンド部、小型化して医療用内視鏡の能動化、さらに原子炉内等の接近性が悪い環境内での自走形検査ロボット等の応用が効果的に期待できるものである。

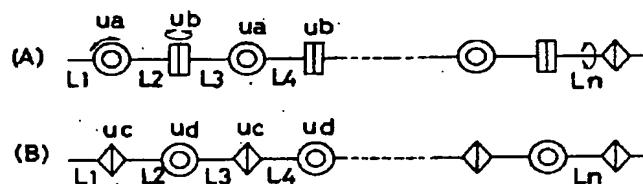
4. 図面の簡単な説明

第1図は従来考えられている ACM を説明する図、第2図はこの発明の一実施例に係る ACM を説明する概略図、第3図は上記 ACM のユニット開節を説明する図、第4図は同じくその制御性を説明する図、第5図および第6図はそれぞれ同軸および斜旋回開節部の構成を示す分解斜視図、第7図は ACM の全体図、第8図の(A)は上記 ACM の自走機構を説明する図、同図の(B)は(A)図の b-b 線拡大断面図である。

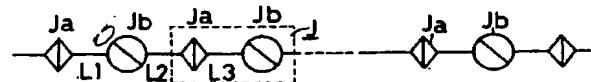
L1, L2, … 体幹節、Ja … 同軸回転開節、Jb … 斜旋回開節、J1a, J1b … 中空パイプ、J2a, J2b … 固定円板、J3 … 中空シャフト、J6 … ベアリング、J7 … リングギア、J8 … パルスモータ、J2a, J2b … 固定丸板。

出願人代理人 弁理士 鈴江武彦

第1図



第2図



第3図

